

noted NOT/PTO 10 APR 2005
PCT/EP/10531792
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

10/531792

29.10.03

EP 03/11142

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 18 NOV 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 48 734.0

Anmeldetag:

18. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber:

LITEF GmbH, Freiburg im Breisgau/DE

Bezeichnung:

Verfahren zur elektronischen Abstimmung der
Ausleseschwingungsfrequenz eines Coriolis-
kreisels

IPC:

G 01 C, G 01 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag


Wehner

BEST AVAILABLE COPY

MÜLLER · HOFFMANN & PARTNER - PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys - European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17
D-81667 München

Anwaltsakte: 53.973
Anmelderzeichen: LTF-191-DE

Mü/My/rs
18.10.2002

LITEF GmbH

Lörracher Str. 18
D-79115 Freiburg

**Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels**

Beschreibung

- 1 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung bei einem Corioliskreisel.
- 5 Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung ist in der Regel eine Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen. Diese Einzelschwingungen des Massensystems sind zunächst voneinander unabhängig und lassen sich jeweils
- 10 abstrakt als "Resonatoren" auffassen. Zum Betrieb eines Vibrationskreisel sind wenigstens zwei Resonatoren erforderlich: einer dieser Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu Schwingungen angeregt, die im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Der andere Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu Schwingungen angeregt, wenn der Vibrationskreisel bewegt/
- 15 gedreht wird. In diesem Fall treten nämlich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator koppeln, der Anregungsschwingung des ersten Resonators Energie entnehmen und diese auf die Ausleseschwingung des zweiten Resonators übertragen. Die Schwingung des zweiten Resonators wird im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen (insbesondere
- 20 Drehungen) des Corioliskreisel zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal (z. B. das Ausleseschwingungs-Abgriffsignal) daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisel darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als auch als
- 25 Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise null – rückgestellt.

Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines Corioliskreisel unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines Corioliskreisel in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares Massensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird. Diese Be-

1 zeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten "abstrakten" Resonatoren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators darstellen. Wie bereits erwähnt, kann der Resonator 2 als System aus zwei "Resonatoren" (erster Resonator 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst werden. Sowohl der erste als auch der
5 zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein Abgriffssystem (nicht gezeigt) gekoppelt. Das Rauschen, das durch die Kraftgeber und die Abgriffssysteme erzeugt wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5) und Noise2 (Bezugszeichen 6) schematisch angedeutet.

10 Der Corioliskreis 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz (Resonanzfrequenz). Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7, ein erstes Tiefpassfilter
15 8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage Controlled Oscillator") 10 und einen ersten Modulator 11 auf.

Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf eine konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein zweites Tiefpassfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.
20

Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen Kräfte, die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis einen dritten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen Quadraturregler 17 und
25 einen zweiten Modulator 18 auf. Der vierte Regelkreis enthält einen vierten Demodulator 19, ein viertes Tiefpassfilter 20, einen Drehratenregler 21 und einen dritten Modulator 22.

Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz ω_1 angeregt. Die resultierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten Demodulators 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil wird dem ersten Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die Summenfrequenzen entfernt. Das abgegriffene Signal wird im Folgenden auch als Anregungsschwingungs-Abgriffsignal bezeichnet. Ein Ausgangssignal des ersten Tiefpassfilters 8 beaufschlagt
30 einen Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des ihm zugeführten Signals den VCO 10 so regelt, dass die In-Phase-Komponente im Wesentlichen zu Null wird. Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den ersten Modulator 11, der seinerseits ei-
35

- 1 nen Kraftgeber so steuert, dass der erste Resonator 3 mit einer Anregungskraft beaufschlagt wird. Ist die In-Phase-Komponente Null, so schwingt der erste Resonator 3 auf seiner Resonanzfrequenz ω_1 . Es sei erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demodulatoren auf Basis dieser Resonanzfrequenz ω_1 betrieben
5 werden.

Das Anregungsschwingungs-Abgriffssignal wird des Weiteren dem zweiten Regelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert, dessen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal wiederum
10 dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14 den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer konstanten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine konstante Amplitude auf).

- 15 Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des Corioliskreisels 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ angedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten Resonator 4 koppeln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen anregen. Eine resultierende Ausleseschwingung der Frequenz ω_2 wird abgegriffen, sodass ein entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal) sowohl dem dritten als auch dem
20 vierten Regelkreis zugeführt wird. Im dritten Regelkreis wird dieses Signal durch den dritten Demodulator 15 demoduliert, Summenfrequenzen durch das dritte Tiefpassfilter 16 entfernt und das tiefpassgefilterte Signal dem Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangssignal den dritten Modulator 22 so beaufschlagt,
25 dass entsprechende Quadraturanteile der Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu wird im vierten Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal durch den vierten Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20, und ein entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen
30 Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang 24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der entsprechende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

- Ein Corioliskreisels 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als
35 auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreisels 1 doppelresonant betrieben, so ist die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung annähernd gleich der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung, wohingegen im nichtdoppel-

1 resonanten Fall die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung verschieden von der
Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung ist. Im Fall der Doppelresonanz beinhaltet
das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20 entsprechende Information
über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten Fall dagegen das Ausgangssignal
5 des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen den unterschiedlichen Betriebsarten
doppelresonant/nichtdoppelresonant umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25
vorgesehen, der die Ausgänge des dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20
wahlweise mit dem Drehratenregler 21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.

10 Wenn der Corioliskreisler 1 doppelresonant betrieben werden soll, muss – wie er-
wähnt – die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungs-
schwingung abgestimmt werden. Dies kann beispielsweise auf mechanischem
Wege erfolgen, in dem Material am Massensystem (dem Resonator 2) abgetragen
wird. Alternativ hierzu kann die Frequenz der Ausleseschwingung auch mittels
15 eines elektrischen Feldes, in dem der Resonator 2 schwingbar gelagert ist, also
durch Änderung der elektrischen Feldstärke, eingestellt werden. Damit ist es
möglich, auch während des Betriebs des Corioliskreislers 1 eine elektronische
Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anre-
gungsschwingung durchzuführen.

20 Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu
stellen, mit dem in einem Corioliskreisler die Frequenz der Ausleseschwingung
auf die Frequenz der Anregungsschwingung elektronisch abgestimmt werden
kann.

25 Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentan-
spruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisler gemäß Patent-
anspruch 10 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Er-
findungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.

30 Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur elektronischen Abstimmung der
Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in
einem Corioliskreisler der Resonator des Corioliskreislers mittels einer Störkraft
so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeein-
35 flusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Aus-
leseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störan-
teil enthält, wobei die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass

- 1 eine Phasenverschiebung zwischen einem Störsignal, das die Störkraft erzeugt, und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.

Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massen-
5 system (oder ein Teil davon) des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.

Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass die "Durchlaufzeit" einer Störung, also einer künstlichen Änderung der Ausleseschwingung durch Beaufschlagen des Resonators mit entsprechenden Störkräften, durch den Resonator, d. h. die Zeit, die ab dem Wirken der Störung am Resonator bis zum Abgriff der Störung als Teil des Auslesesignals verstreicht, von der Frequenz der Ausleseschwingung abhängt. Damit ist die Verschiebung zwischen der Phase des Störsignals und der Phase des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteilsignals ein Maß für die Frequenz der Ausleseschwingung. Es lässt sich zeigen, dass die Phasenverschiebung ein Minimum annimmt, wenn die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen übereinstimmt. Wenn man daher die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Phasenverschiebung ein Minimum annimmt, so
15 ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen abgestimmt.

Wesentlich hierbei ist, dass die Störkräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die Anregungsschwingung ändern. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 bedeutet dies, dass die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 beaufschlagen, nicht jedoch den ersten Resonator 3.

Vorzugsweise wird die Störkraft durch ein Störsignal erzeugt, das entsprechenden Kraftgebern zugeführt wird bzw. auf Signale, die den Kraftgebern zugeführt werden, aufaddiert wird. Beispielsweise kann, um die Störkraft zu erzeugen, ein
30 Störsignal auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale zur Regelung/Kompensation der Ausleseschwingung aufaddiert werden.

Vorzugsweise ist das Störsignal ein Wechselsignal, beispielsweise eine Überlagerung von Sinus- bzw. Kosinussignalen. Dieses Störsignal weist in der Regel eine feste Störfrequenz auf, womit der Störanteil des Ausleseschwingungs-Abgriffsignals durch einen entsprechenden Demodulationsprozess, der bei besagter Störfrequenz erfolgt, ermittelt werden kann.

- 1 Das oben beschriebene Verfahren kann sowohl auf einen Open-Loop- als auch auf einen Closed-Loop-Corioliskreis angewandt werden. Im letzteren Fall wird das Störsignal vorzugsweise auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale zur Regelung/Kompensation der Ausleseschwingung, aufaddiert. Beispielsweise kann das
- 5 Störsignal auf das Ausgangssignal des Quadraturregelkreises aufaddiert, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt werden, das an einem Quadraturregler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Ferner ist es möglich, das Störsignal zum Ausgangssignal des Drehratenregelkreises hinzu-
- 10 zuaddieren, und den Störanteil aus einem Signal zu ermitteln, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Der Begriff "Auslesesignal" beinhaltet alle in diesem Absatz beschriebenen Signale, aus denen der Störanteil ermittelt werden kann. Auch kann damit das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal gemeint sein.
- 15 Die Frequenzregelung der Ausleseschwingung, d.h. die Kraftübertragung der zur Frequenzregelung nötigen Regelkräfte erfolgt hierbei durch Regelung der Stärke eines elektrischen Felds, in dem ein Teil des Resonators schwingt, wobei eine elektrische Anziehungskraft zwischen dem Resonator und einem den Resonator umgebenden rahmenfesten Gegenstück vorzugsweise nichtlinear ist.
- 20 Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreis bereit, der einen Drehratenregelkreis und einen Quadraturregelkreis aufweist und gekennzeichnet ist durch eine Einrichtung zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung. Die Einrichtung zum
- 25 elektronischen Abstimmen weist hierbei auf:
- eine Störeinheit, die auf den Drehratenregelkreis oder den Quadraturregelkreis ein Störsignal gibt,
 - eine Störsignal-Detektiereinheit, die einen Störanteil ermittelt, der in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist und
 - 30 durch das Störsignal erzeugt wurde, und
 - eine Regeleinheit, die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass eine Phasenverschiebung zwischen dem Störsignal und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.
- 35 Vorzugsweise gibt die Störeinheit das Störsignal auf den Drehratenregelkreis, und die Störsignal-Detektiereinheit ermittelt den Störanteil aus einem Signal, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem

1 ausgegeben wird. Eine weitere Alternative ist, das Störsignal durch die Störeinheit auf den Quadraturregelkreis zu geben, wobei dann die Störsignal-Detektierereinheit den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an einem Quadraturregler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

5

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Erfindung in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

10 **Figur 1** den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basiert;

Figur 2 den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels.

15 Zunächst wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Dabei sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figur 2 entsprechen, mit den selben Bezugszeichen gekennzeichnet und werden nicht nochmals erläutert.

20 Ein Corioliskreisels 1' ist zusätzlich mit einer Störeinheit 26, einer ersten Demodulationseinheit 27, einem Ausleseschwings-Frequenzregler 28, einer Ausleseschwingsmodulationseinheit 29, einer zweiten Demodulationseinheit 30 und einer Modulationskorrekturereinheit 31 versehen.

25 Die Störeinheit 26 erzeugt ein erstes Störsignal, vorzugsweise ein Wechselsignal mit einer Frequenz ω_{mod} , das auf das Ausgabesignal eines Drehratenreglers 21, d.h. am Kraftausgang der Drehratenregelung) aufaddiert wird. Das somit erhaltene zusammengesetzte Signal wird einem Modulator 18 (zweiter Modulator) zugeführt, dessen entsprechendes Ausgabesignal mittels eines Kraftgebers (nicht gezeigt) den Resonator 2 beaufschlagt. Das Wechselsignal wird zusätzlich der 30 ersten Demodulationseinheit 27 zugeführt.

Das Ausleseschwings-Abgriffssignal wird durch einen vierten Demodulator 19 demoduliert, wobei das Ausgangssignal des vierten Demodulators 19 ein viertes Tiefpassfilter 20 beaufschlagt, dessen Ausgangssignal einem Drehratenregler 21 35 zugeführt wird. Ein Ausgangssignal des Drehratenreglers 21 wird sowohl dem zweiten Modulator 18 als auch der ersten Demodulationseinheit 27 zugeführt, die dieses Signal auf Basis der Modulationsfrequenz ω_{mod} , die der Frequenz des

- 1 durch die Störeinheit 26 erzeugten Wechselsignals entspricht, demoduliert und damit den Störanteil bzw. das Wechselsignal, das die durch die Störeinheit 26 erzeugte Störung repräsentiert, ermittelt. Insbesondere wird durch die erste Demodulationseinheit 27 die Phase des im Auslesesignal enthaltenen Störanteil-
- 5 signals ermittelt und mit der Phase des Störsignals, das von der Störeinheit 26 erzeugt wird, verglichen. Die somit errechnete Phasenverschiebung wird dem Ausleseschwungs-Frequenzregler 28 zugeführt, der die Frequenz der Ausleseschwingung so einstellt, dass die Phasenverschiebung minimal wird. Um die Phasenverschiebung auf ein Minimum zu regeln, wird die elektronisch abstimm-
- 10 bare Frequenz der Ausleseschwingung mit einem zweiten Störsignal ω_2 -Mod durch die Ausleseschwungsmodulationseinheit 29 moduliert. Dadurch ergibt sich eine Variation der Phasenverschiebung entsprechend diesem zweiten Störsignal. Die Phasenverschiebung aus der ersten Demodulationseinheit 27 wird nun entsprechend dem zweiten Störsignal ω_2 -Mod demoduliert. Ist die Phasen-
- 15 verschiebung aus der ersten Demodulationseinheit 27 im Wesentlichen minimal, so wird das Signal am Eingang des Ausleseschwungs-Frequenzreglers 28 im Wesentlichen Null. Ist die Phasenverschiebung dagegen nicht minimal, so ergibt sich ein von Null abweichendes Signal am Eingang des Ausleseschwungs-Frequenzreglers 28 mit entsprechendem Vorzeichen, so dass der Ausleseschwin-
- 20 gungs-Frequenzregler 28 die Phasenverschiebung mittels der elektronischen Frequenzregelung minimiert. Ist ein derartiges Minimum erreicht, so stimmen die Frequenzen von Anregungsschwingung und Ausleseschwingung im Wesentlichen überein.
- 25 Wie bereits erwähnt, kann alternativ hierzu das durch die Störeinheit 26 erzeugte Wechselsignal auch auf ein Ausgangssignal des Quadraturreglers 17 aufaddiert werden. In diesem Fall wäre das der ersten Demodulationseinheit 27 zugeführte Signal am Eingang oder Ausgang des Quadraturreglers 17 abzugreifen.
- 30 Ferner ist es prinzipiell möglich, das Störsignal an einer beliebigen Stelle in den Quadraturregelkreis/Drehratenregelkreis einzuspeisen (nicht nur unmittelbar vor dem zweiten bzw. dritten Modulator 18, 22), d. h. an einer beliebigen Stelle zwischen dem Abgriff für die Ausleseschwingung und dem zweiten bzw. dritten Modulator 18, 22.
- 35 Es ist vorteilhaft, nach dem Einschalten des Corioliskreisels 1' die Modulationsfrequenz ω_{mod} des Wechselsignals auf einen hohen Wert zu setzen, um eine

- 1 schnelle Grobregelung der Frequenz der Ausleseschwingung zu erzielen. Dann
kann auf eine relativ niedrige Modulationsfrequenz ω_{mod} umgeschaltet werden,
um eine Resonanz der Ausleseschwingung genau einzustellen. Zudem kann nach
einer gewissen Zeit nach Einlaufen des Drehratenreglers 21 bzw. des Quadratur-
5 reglers 17 die Amplitude der Modulationsfrequenz ω_{mod} stark reduziert werden.

- Grundsätzlich können alle Modulationsprozesse auch auf Basis von bandbe-
grenztem Rauschen erfolgen. D.h., alle vorangehend beschriebenen Wechsel-
signale (das erste Störsignal ω_{mod} als auch das zweite Störsignal ω_2 -Mod) kön-
10 nen durch entsprechende Rauschsignale ersetzt werden, wobei in diesem Fall die
entsprechenden Demodulationsprozesse auf Basis von Kreuzkorrelation erfolgen,
d.h. auf Basis einer Korrelation zwischen den Rauschsignalen und dem Auslese-
signal, das durch die Rauschsignale bewirkte Rauschantelle (Störanteile) ent-
hält.

15

- Bei einem zweiten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der
Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in
einem Corioliskreisels wird der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Stör-
kraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbe-
20 einflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die
Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden
Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird,
dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenden Störanteils möglichst
klein wird.

25

- Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass eine
künstliche Änderung der Ausleseschwingung im Drehraten- oder Quadraturka-
nal um so stärker insbesondere im jeweils dazu orthogonalen Kanal sichtbar ist,
je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anre-
30 gungsschwingung übereinstimmt. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen
Störung auf das Ausleseschwingungs-Abgriffsignal (insbesondere auf den or-
thogonalen Kanal) ist also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der Auslese-
schwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Wenn
man also die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlags-
35 stärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwin-
gungs-Abgriffsignal enthaltenen Störanteils minimal wird, so ist damit gleichzei-
tig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwin-
gung im Wesentlichen abgestimmt.

- 1 Wesentlich hierbei ist, dass die Störkräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die Anregungsschwingung ändern. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 bedeutet dies, dass die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 beaufschlagen, nicht jedoch den ersten Resonator 3.

5

- Bei einem dritten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisels wird der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Störkraft definiert ist als diejenige Kraft, die durch das Signalrauschen im Auslesesignal hervorgerufen wird. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird hierbei so geregelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils, d.h. der Rauschanteil, möglichst klein wird.

- Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels. Wesentlich hierbei ist, dass die Störkräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die Anregungsschwingung ändern. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 würde dies bedeuten, dass die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 beaufschlagen, nicht jedoch den ersten Resonator 3.

- 25 Eine dem dritten alternativen Verfahren zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass ein Störsignal in Form von Signalrauschen, das direkt im Ausleseschwingungs-Abgriffssignal bzw. am Eingang der Regelkreise (Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis) auftritt, nach "Durchgang" durch die Regelkreise und den Resonator umso stärker im Ausleseschwingungs-Abgriffssignal beobachtbar ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Das Signalrauschen, das das Signalrauschen der Ausleseschwingungs-Abgriffselektronik bzw. der random walk des Corioliskreisels ist, beaufschlagt nach "Durchlauf" durch die Regelkreise die Kraftgeber und erzeugt somit entsprechende Störkräfte, die den Resonator beaufschlagen und damit eine künstliche Änderung der Ausleseschwingung hervorrufen. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal ist also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der

- 1 Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Wenn man also die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwingungs-Abgriffsignal enthaltenen Störanteils, d.h. des Rauschanteils, minimal wird, so ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung abgestimmt.

- Das zuerst beschriebene erfindungsgemäße Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz kann mit dem zweiten alternativen Verfahren und/oder dem dritten alternativen Verfahren beliebig kombiniert werden. Beispielsweise ist es möglich, bei Inbetriebnahme des Corioliskreisels das zuerst beschriebene Verfahren anzuwenden (schnelles Einschwingverhalten), und anschließend das dritte alternative Verfahren (langsamer Regelprozess) im eingeschwungenen Betrieb anzuwenden. Konkrete technische Ausgestaltungen sowie weitere Details zu den Verfahren kann der Fachmann den Patentanmeldungen "Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels", LTF-190-DE und LTF-192-DE desselben Anmelders entnehmen, in denen jeweils das zweite alternative Verfahren bzw. das dritte alternative Verfahren beschrieben sind. Der gesamte Inhalt der Patentanmeldungen LTF-190-DE/LTF-192-DE sei hiermit in die Beschreibung mit aufgenommen.

25

30

35

Best Available Copy

Patentansprüche

- 1 1. Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisels (1'), wobei
- ~ der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') durch eine Störkraft so beauf-
- 5 schlägt wird, dass
- a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und
- b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei
- 10 ~ die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass eine Phasenverschiebung zwischen einem die Störkraft erzeugenden Störsignal und dem in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft durch ein Störsignal erzeugt wird, das auf jeweilige Regel-/Rückstellsignale zur
- 15 Regelung/Kompensation der Ausleseschwingung aufaddiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal ein Wechselsignal ist.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal eine feste Störfrequenz aufweist, und der Störanteil aus dem Auslesesignal durch Demodulieren des Auslesesignals mit der festen Störfrequenz ermittelt wird.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal ein bandbegrenztes Rauschsignal ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Demodulation des Störanteils aus dem Auslesesignal durch Korrelation des Störsignals mit dem Auslesesignal erfolgt.
- 30 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Störsignal auf das Ausgangssignal des Quadraturregelkreises aufaddiert wird, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem
- 35 Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

1 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**,
dass das Störsignal zum Ausgangssignal des Drehratenregelkreises hinzuaddiert
wird, und der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Dreh-
ratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben
5 wird.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-
zeichnet**, dass die Frequenzregelung der Ausleseschwingung durch Regelung
der Stärke eines elektrischen Felds erfolgt, in dem ein Teil des Resonators (2)
10 des Corioliskreisels (1') schwingt.

10. Corioliskreisels, der einen Drehratenregelkreis und einen Quadraturre-
gelkreis aufweist, **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung zur elektronischen
Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anre-
15 gungsschwingung, mit:

- einer Störeinheit (26), die auf den Drehratenregelkreis oder den Quadra-
turregelkreis ein Störsignal gibt,
- einer Störsignal-Detektiereinheit (27), die einen Störanteil ermittelt, der
in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist
20 und durch das Störsignal erzeugt wurde, und
- einer Regeleinheit (28), die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt,
dass eine Phasenverschiebung zwischen dem Störsignal und dem im Auslese-
signal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.

5 11. Corioliskreisels (1') nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Störeinheit (26) das Störsignal auf den Drehratenregelkreis gibt, und die Stör-
signal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an ei-
nem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem
ausgegeben wird.

30

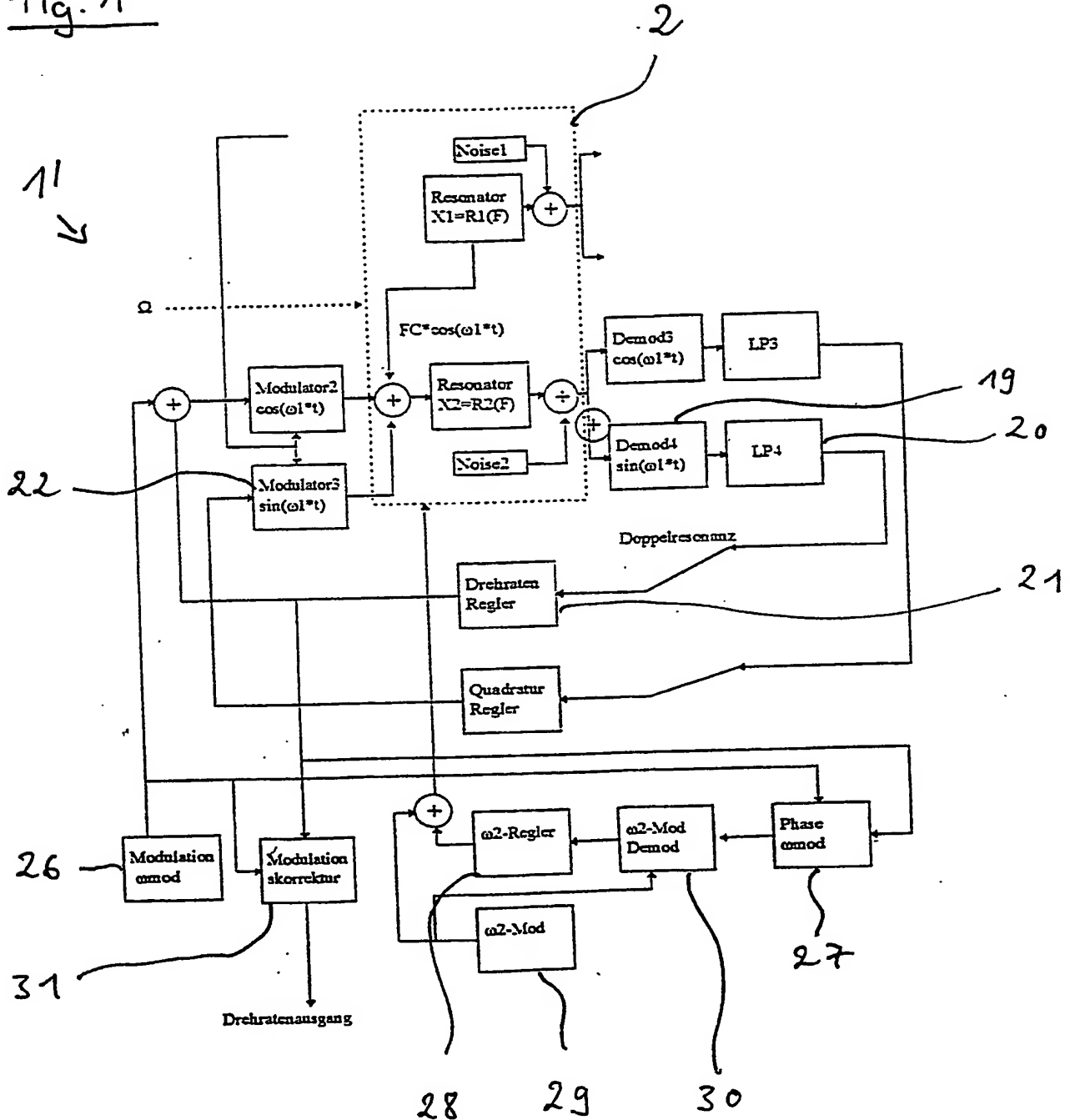
12. Corioliskreisels (1') nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Störeinheit (26) das Störsignal auf den Quadraturregelkreis gibt, und die Stör-
signal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das an ei-
nem Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem
35 ausgegeben wird.

Zusammenfassung**Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels**

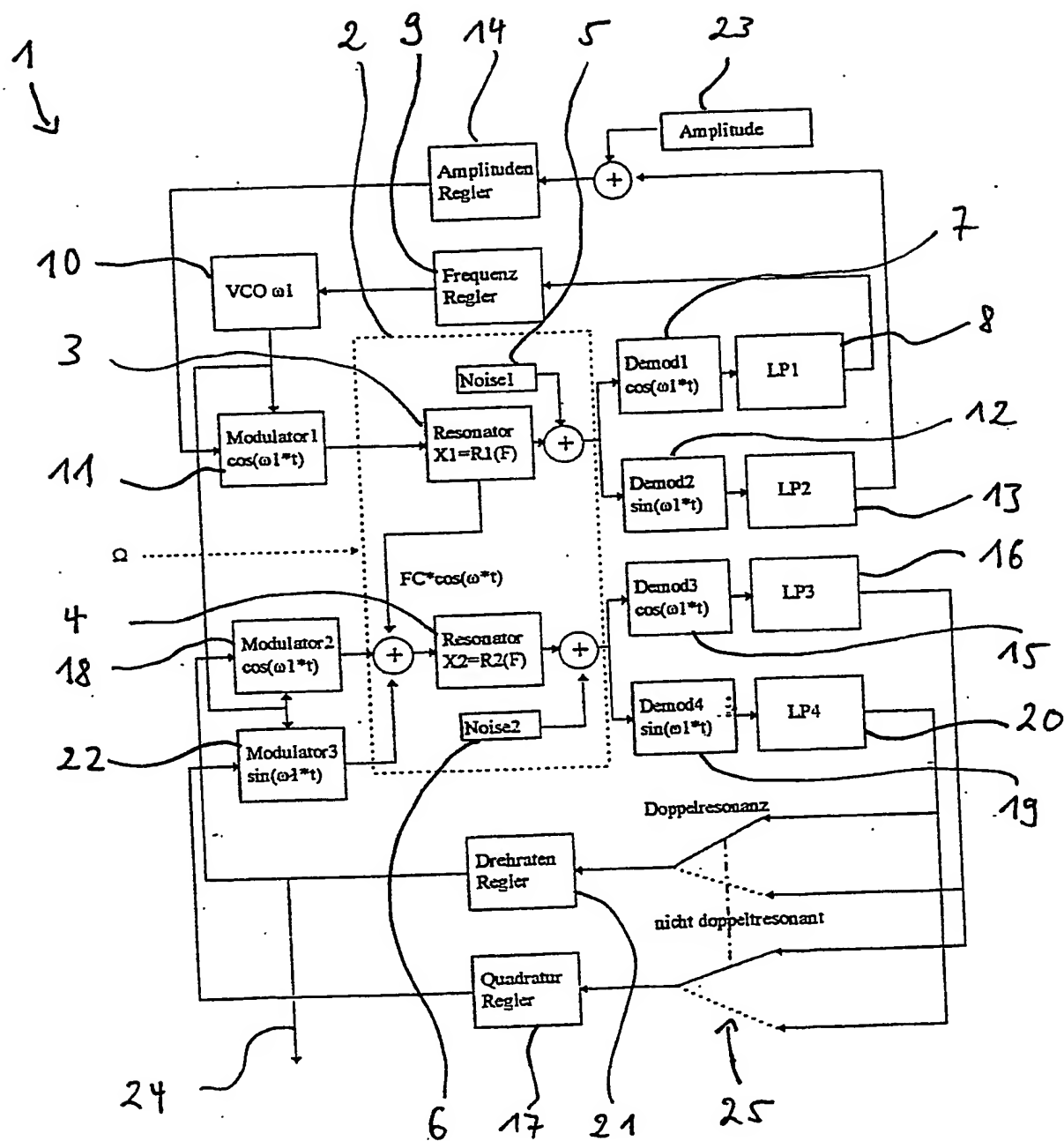
Beim Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisels (1') gemäß der Erfindung wird der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, wobei die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird so geregelt, dass die Phasenverschiebung zwischen dem Störsignal und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil minimal wird.

(Fig. 1)

Fig. 1



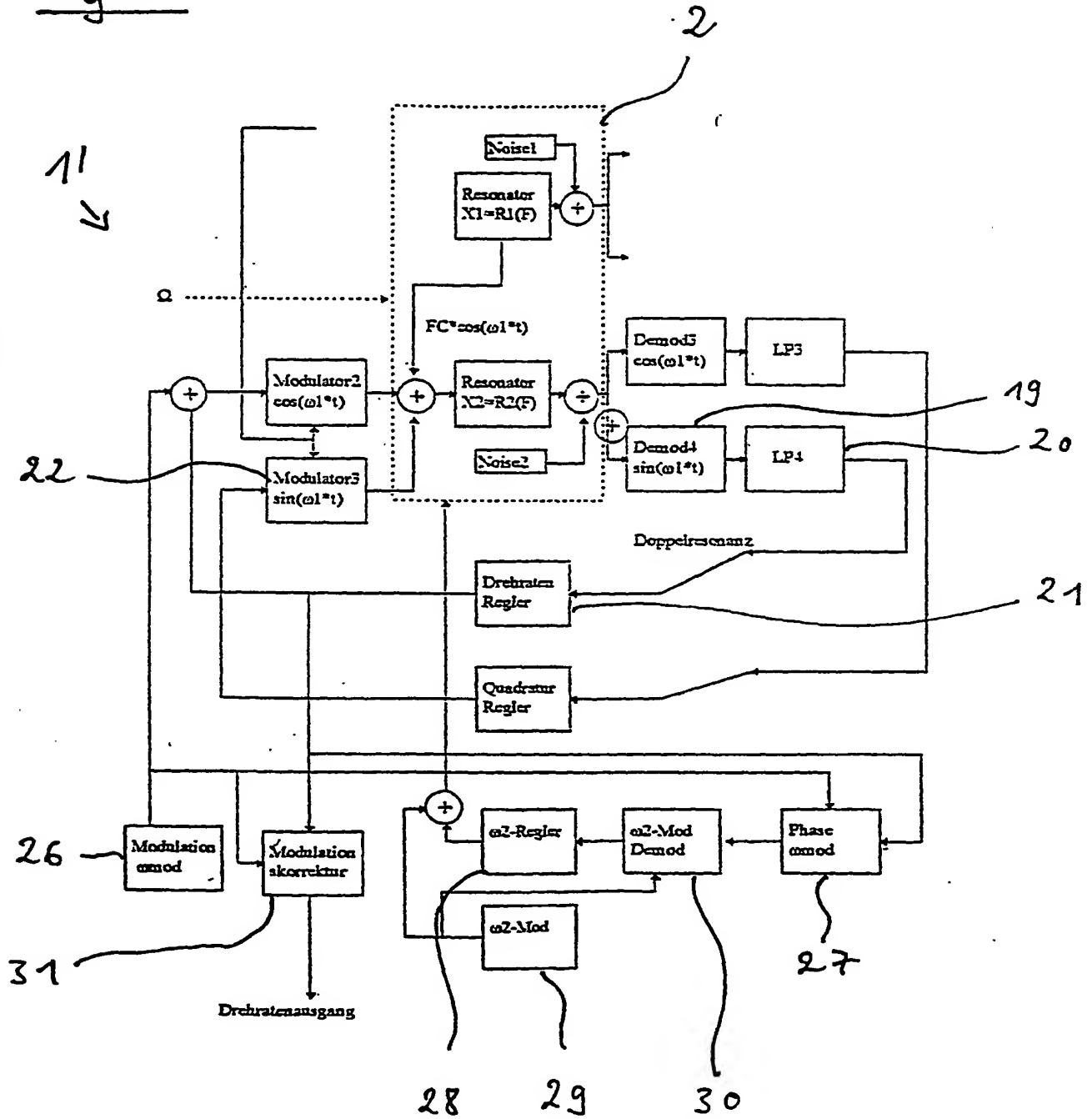
Best Available Copy

Fig. 2

Best Available Copy

.....

Fig. 1



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.